Fundamentalversuche über die Helligkeits- und Farbenempfindlichkeit augenloser und geblendeter Thiere.

Von Prof. **V. Graber**
in Czernowitz.

(Vorgelegt in der Sitzung am 1. März 1883.)

Nach dem gegenwärtigen Stande unserer Erfahrung unterliegt es wohl keinem Zweifel, dass das Licht als solches, ich meine ohne strahlende Wärme gedacht, die Thiere im Allgemeinen nicht allein durch Vermittlung der specifischen Lichtperceptionsorgane, d. i. der Augen, beeinflusst, sondern dass es auch auf anderem Wege, nämlich bei seinem Durchgange durch die Haut, beziehungsweise (zumal bei kleinen und durchsichtigen Geschöpfen) durch den Körper überhaupt, gewisse mehr oder weniger intensive physiologische Veränderungen hervorruft.

Ich will künftig die erstere Wirkung als photommatische, die letztere als photodermatische, resp. als photosommatische bezeichnen.

Mit Rücksicht auf die ausgesprochene Erkenntniss habe ich nun auch gelegentlich eines Referates über die chromatoptischen Experimente von Sir John Lubbok[1] (im Biologischen Centralblatt, II. Bd. Nr. 4, pag. 114) auf die Möglichkeit hingewiesen, dass speciell bei den Ameisen und den Daphniden die ausserordentliche Empfindlichkeit derselben gegen das Ultraviolet,

[1] Observations on Ants, Bees and Wasps. Linnean Societ. Journal, Zoologie I. Vol. XIV., pag. 278—290. Experiments showing how Ants are affected by different coloured Lights and Media. II. ebenda Part. VIII, 1881, pag. 362—377. Experiments with Light of different Wav-lengths. III. ebenda Vol. 16., pag. 121—127. On the Sense of color among some of the Lower Animals. IV. ebenda Vol. 16., pag. 110—115. Colors of Flowers as an Attraction to Bees, Experiments and Considerations thereon.

welche der Verfasser ausschliesslich durch die Augen vermittelt sein lässt, vielleicht doch, z. Th. wenigstens, auch auf einer Afficirung der Haut, resp. auf chemischen Vorgängen beruhen könnte, und habe dann ferner zur Controllirung des Verhaltens Parallelversuche mit geblendeten Thieren in Vorschlag gebracht.

In der Folge machte ich dann selbst und zwar, wie ich schon im Voraus bemerken muss, unter Vermeidung gewisser Fehler in der Methode Lubbocks, der u. A. bei allen seinen Farbenversuchen den, häufig wenigstens, sehr wichtigen Helligkeitseinfluss unberücksichtigt liess, ausgedehnte chromatoptische Untersuchungen bei allen Thierclassen und gewisse hiebei gemachte Beobachtungen führten mich auch zur experimentellen Prüfung der photodermatischen Wirkungen, über die ich in diesen Blättern, da sich das Erscheinen des umfangreichen Hauptwerkes noch lange verzögern dürfte, einen kurzen Vorbericht geben will. Zunächst muss ich nun aber das Ziel der einschlägigen Untersuchungen etwas näher bezeichnen.

Alle die Lichtwirkungen bei augenlosen und geblendeten Thieren behandelnden Experimente der letzten Zeit befassen sich mit alleiniger Ausnahme der mir erst während der Revision dieser Schrift zugekommenen und später noch zu erwähnenden Abhandlung von Th. Engelmann[1] lediglich nur mit der Frage, welche Veränderungen verschieden intensive, resp. verschiedenfarbige Lichter an den bezeichneten Thieren in Bezug auf die Entwicklung und auf den Gaswechsel derselben hervorrufen.

So wichtig nun aber auch die Erforschung der directen und indirecten chemischen Wirkungen des Lichtes, wenn sie anders, was indess bei den in Rede stehenden Arbeiten nicht immer der Fall gewesen zu sein scheint, mit der richtigen Methode betrieben wird, sein mag, so wird man anderseits doch zugeben müssen, dass die Haupt- und Grundfrage, an die sich die übrigen Probleme anschliessen, die ist, ob und in welchem Grade augenlose

---

[1] Über Licht- und Farbenperception niederster Organismen. Archiv f. d. ges. Physiologie von Pflüger 29. Bd., pag. 387—400. Nov. 1882. Vgl. hiezu u. A. auch die wichtige Arbeit von Strassburger, Wirkung des Lichtes und der Wärme auf Schwärmsporen. Jenaische Zeitschrift für Naturw. 1878.

und geblendete Thiere gegen Lichtdifferenzen empfindlich sind, beziehungsweise ob und in welchem Grade sie auf dieselben durch Ausführung gewisser ihr Empfinden, oder richtiger ihr Gefühl dokumentirender Bewegungen zum oder vom Lichte reagiren.

Dies, d. i. also die Untersuchung der photokinetischen Reactionen, ist auch das Ziel, das ich zunächst im Auge habe.

Die weitere Frage dagegen, worauf denn diese Reactionen oder Gefühlsäusserungen eigentlich beruhen, mit anderen Worten, ob man es hier mit primären oder secundären Wirkungen auf das Sensorium zu thun habe, wollen wir vorläufig ganz ausser Acht lassen, und werde ich erst am Schlusse wieder darauf zurückkommen.

Vorausschicken muss ich noch, dass die Zahl der von mir in der bezeichneten Absicht genauer geprüften Thiere so klein als möglich ist. Die Experimente beschränken sich nämlich auf einen Vertreter der augenlosen Thiere, wozu ich den Regenwurm nahm, und auf einen Repräsentanten der (geblendeten) Augenthiere, als welcher mir der gemeine Wassermolch (*Triton cristatus Laur.*) diente.

I. Die Helligkeits- und Farbenempfindlichkeit der augenlosen Thiere.

Sehen wir uns zunächst darnach um, wie es denn mit den bisherigen Untersuchungen über die Lichtempfindlichkeit oder Photopathie der augenlosen (niederen) Thiere bestellt ist, so wird man wohl ohne Weiteres einräumen, dass neue Experimente in dieser Richtuug in der That ein dringendes Bedürfniss sind.

Nachstehende Notizen, die aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, werden dies am Besten darthun.

Um mit den Protozoen zu beginnen, so sind es vorwiegend nur die vielbeobachteten Infusorien, bei denen wiederholt ausgesprochene photokinetische Reactionen constatirt wurden. So schreibt z. B. Haekel in seinem bekannten Aufsatz, „Über Ursprung und Entwicklung der Sinneswerkzeuge“[1]:

---

[1] Kosmos IV. Bd.

„Stellt man ein Wassergefäss mit vielen solchen Thierchen so an ein Fenster, dass der eine Theil im Lichte, der andere im Dunkeln ist, so sammeln sich bald die meisten in der hellen Abtheilung, einige (Arten) aber auch im Dunkeln.[1]

Hinsichtlich der grossen und reichgliederigen Abtheilung der Rhizopoden fand ich dagegen gar keine irgendwie bemerkenswerthe einschlägige Beobachtung.

Mehr weiss man schon betreffs der Coelenteraten. So wird zunächst angegeben, dass unser Süsswasser-Polyp, die Hydra sehr lichtempfindlich sei; eingehendere exacte Untersuchungen scheinen indess noch ganz zu fehlen.

Eine hochgradige Photopathie muss ferner gewissen Actinien eigen sein. Ich lese nämlich in Bronn (Classen und Ordnungen des Thierreichs 2. Bd., pag. 2), dass, wenn auf *Edwardsia* oder *Cereanthus* ein „greller Lichtstrahl" fällt, sie derart erschreckt werden, dass sie augenblicklich ihre Tentakeln einziehen.

Noch bestimmter ist eine Angabe des berühmten Coelenteraten-Forschers Sars. Derselbe berichtet nämlich, dass die augenlosen Larven der *Cyanea* und anderer den Tubulariden entsprossenden Medusen sich immer, und zwar in höchst auffallender Weise, an der Lichtseite des Aquariums ansammeln, wie oft man letzteres auch umkehren mag.

Diese Beobachtung erlaubt den Schluss, dass auch die den erwähnten Coelenteraten-Larven vielfach sehr ähnlichen Larven der Schwämme[2], der Echinodermata, gewisser Würmer u. s. f. gleichfalls photopathisch sind.

---

[1] Genaueres über die photokinetischen Infusorien-Reactionen gibt Th. Engelmann (l. c.), so z. B. bezüglich des *Paramaecium bursaria* (p 392 etc.). Die Licht-Bewegungen scheinen hier ausschliesslich durch das respiratorische Bedürfniss, resp. durch die Schwankungen der O Spannung des Mediums bedingt zu sein. Ich sage „scheinen," weil die Thiere möglicherweise doch auch gegen das Licht als solches ohne Rücksicht auf dessen (hauptsächlich an das Chlorophyll gebundene) Sauerstofferzeugung empfindlich sein können. Jedenfalls müssen noch sorgfältige Experimente im freien Medium gemacht werden. Euglena, wenn wir sie überhaupt hieher stellen dürfen, ist nach Engelmann photo- resp. kyanophil, und soll für Intensitätsunterschiede empfindlicher als wir sein.

[2] Eine Bestätigung dieser meiner Ansicht finde ich in der mir nachträglich zugekommenen Abhandlung „die Ontogenie von *Reniera filigrana*

Über die Lichtempfindlichkeit der augenlosen Stachelhäuter (z. B. der Haarsterne) kenne ich keine Beobachtung; so viel mir bekannt, weiss man aber selbst über das ophthalmoptische Sehen der Seesterne und anderer mit Augen begabter Formen sehr wenig oder gar nichts.

Ganz ausserordentlich spärlich ist auch unsere Kenntniss über die Photopathie der so zahlreichen augenlosen Würmer; indem, den später zu behandelnden Regenwurm ausgenommen, auch nicht eine einzige einschlägige Untersuchung vorliegt.

Weiters finde ich dann eine Angabe über die *Bryozoen*, dahinlautend, dass einige unserer Süsswasserformen, wie z. B. *Cristatella*, das Licht aufsuchen, während andere wieder, wie z. B. *Paludicella*, sich als photophob erweisen.

Was endlich die Abtheilung der Weichthiere betrifft, die bekanntlich ebenfalls zahlreiche augenlose Formen enthält, ist auch hier über deren photopathisches Verhalten in der Literatur nicht viel anzutreffen.

Relativ das Meiste noch wissen wir, Dank den classischen Studien des berühmten Biologen Lacaze-Duthiers, über den in so vieler Beziehung merkwürdigen Elefantenzahn (*Dentalium*). Er schreibt hierüber in seiner Monografie[1] Folgendes: „Das *Dentalium* verspürt die Einwirkung des Lichtes; man sieht es den Fuss einziehen, wenn man einen Sonnenstrahl darauf fallen lässt. Auch wenn man sich dem Thiere mit einem Lichte nähert, zieht es sich in sein Gehäuse zurück“. — Nebstdem wären u. A. etwa noch gewisse Flossenfüssler, wie z. B. die krystallhellen Hyalaeen

---

O. Schm.“ von William Marshall (Zeitschrift f. wiss. Zoologie 37. Bd. 1882), wo sich (pag. 225—6) bezüglich der Photopathie der jungen Larven des genannten Schwammes folgende Stelle findet. „Sie sind ziemlich lichtscheu und sammeln sich in grösseren Aquarien immer an der vom Licht abgewendeten Seite an. Dreht man das Glas, so sieht man, wie alle Larven nach der Stelle fliehen, die jetzt am schattigsten ist und dieses Schauspiel kann man sich so oft wiederholen wie man will. Es liegt verführerisch nahe, diese Empfindlichkeit gegen das Licht mit dem Vorhandensein der Masse dunkeln (violetten) Pigmentes an dem einen Pole (über dem Geiselkranze) in Verbindung zu bringen.“

[1] Histoire de l'organisation et du Developpement du Dentale Annal. d. scienc. natur. IV. Serie T. VI, VII und VIII, 1856—1858.

zu erwähnen. Aus dem Umstande nämlich, dass diese überaus zarten Geschöpfe, ähnlich manchen anderen augenlosen Meerthieren, nur zu gewissen Stunden des Tages an der Oberfläche erscheinen, darf man mit O. Schmidt[1] wohl mit einer gewissen Zuverlässigkeit den Schluss ziehen, dass sie bei ihrem periodischen Erscheinen, abgesehen von gewissen anderen Einwirkungen, auch durch das jeweilige Licht beeinflusst werden.

Im Anschluss an die gegebenen Daten sei dann noch ausdrücklich hervorgehoben, dass bisher über die Einwirkung qualitativ verschiedenen Lichtes auf die augenlosen Thiere, wenn wir die erwähnten Studien Engelmann's bei Infusorien ausnehmen, so viel mir bekannt ist, auch nicht eine einzige einigermassen exacte Untersuchung vorliegt, was übrigens insoferne nicht befremden wird, als ja selbst von den mit Augen versehenen Geschöpfen das chromatopathische Verhalten bisher nur bei einigen wenigen Formen experimentell geprüft wurde.[2]

Untersuchungen am Regenwurm.

Die ersten näheren Angaben über die Photopathie der Regenwürmer findet man in Hoffmeisters Monografie dieser Thiere[3]. Er bezeichnet dieselben als äusserst empfindlich gegen

---

[1] Brehm's Thierleben, 2. Aufl., 10 Bd., pag. 332.

[2] Hier möchte ich kurz darauf aufmerksam machen, dass aus den neuesten einschlägigen Studien von Mereschowsky über das Farben-Unterscheidungsvermögen der Larven von Balanus und der Copepoden (Sitzber. d. Pariser Akademie 26. Dec. 1881) nicht das geschlossen werden darf, was der Verfasser daraus schliesst. Wenn nämlich besagte Thiere wohl auf Helligkeits-, nicht aber auf Farbendifferenzen reagiren, so folgt daraus nicht, dass sie letztere (ich meine die chromatischen Unterschiede) überhaupt gar nicht empfinden resp. unterscheiden, und dass hier ein „fundamentaler Gegensatz" zum Lichtempfinden anderer Thiere mit Einschluss der (bekanntlich sehr farbenempfindlichen) Bienen, Ameisen und Daphniden vorliegt. Man bedenke diesfalls nur, dass Reactions- und Empfindungsschwelle meist weit auseinander liegen und besonders, dass viele höhere Thiere, gewisse Sänger, Vögel etc. auch nicht (wenigstens nicht unter analogen Umständen) auf Farben reagiren, obwohl sie dieselben doch sicherlich (im Allgemeinen) als differente Erscheinungen wahrnehmen.

[3] Die bis jetzt bekannten Arten aus der Familie der Regenwürmer, Braunschweig 1845, p. 18.

(quantitative) Lichtunterschiede, bemerkt aber, dass in den meisten Fällen der betreffende Reiz längere Zeit einwirken muss. Vor Allem wichtig für unsere Frage nach der allgemeinen Empfindlichkeit der Haut für Lichtreize ist dann eine weitere Mittheilung H., nach welcher die photopathische Fähigkeit der Haut ausschliesslich auf das vorderste, die centralen Nervenorgane umfassende Körperende localisirt sein soll.

Er sagt hierüber: „Nicht der ganze Körper, wie begreiflich, empfindet den (Licht-)Eindruck, sondern nur die zwei ersten Ringe, an denen die vom Schlundring ausgehenden Nervenbündel liegen.“ Als Beweis wird u. A. angeführt, dass ein Wurm, der mit dem Kopf (voran) in ein Loch kriecht, die allerstärkste Annäherung einer Flamme verträgt, während er sofort verschwindet, sobald er den Kopf erhoben hat. Auch wird noch erwähnt, dass, wenn man einen Wurm bei Sonnenlicht in eine Schale mit Wasser gibt, derselbe sich immer gegen den Schatten-Rand wendet.

Irgend welche Versuche mit qualitativ verschiedenem Licht scheint Hoffmeister nicht angestellt zu haben.

Später haben dann u. A. ein paar englische Forscher Bridgman und Newman[1] einschlägige Beobachtungen gemacht, nach denen sich die Lichtempfindlichkeit unserer Thiere insoferne als nicht sehr bedeutend erwies, als dieselben, wenn sie Nachts am Eingange ihrer Löcher mit einer Kerze oder mit einer Laterne beleuchtet wurden, nur selten ihren Standort verliessen, resp. Unlusterscheinungen zu erkennen gaben.

Mehrere einschlägige Beobachtungen findet man endlich in Darwin's letztem Werke über „die Bildung der Ackererde durch die Thätigkeit der Würmer.“[2] Auch Darwin findet die Photopathie unserer Thiere im Allgemeinen nicht sehr gross, da sie z. B. durch das Licht einer sogenannten Bulls-eye-Laterne (mit Scheiben von dunkelblauem und rothem Glas), das heller wie jenes des Vollmonds sein dürfte, auch nach längerer Einwirkung garnicht afficirt wurden. Beachtenswerth ist ferner eine Bemerkung,

---

[1] The Zoologist, Vol. 7. 1874, pag. 2576.

[2] Stuttgart 1882.

hinsichtlich der Farbe des Lichtes, „die allem Anschein nach keine Verschiedenheit im Resultat hervorbringt." Bezüglich der Frage nach der localen Ausbreitung der Lichtempfindlichkeit über den Körper stimmt Darwin vollständigt mit Hoffmeister überein. Er sagt hierüber: „Wie ich bei vielen Gelegenheiten beobachtet habe, ist es nur das vordere Ende des Körpers, welches durch das Licht beeinflusst wird. Wenn dieser Theil beschattet wird, so können andere Theile des Körpers voll beleuchtet werden, und es wird keine Wirkung erzielt."

Indem ich nun zur Darstellung meiner eigenen Experimente übergehe, muss ich vor Allem bemerken, dass die bisher angewandte Methode, die Regenwürmer an ihrem gewöhnlichen Standort, d. i. am Eingang ihrer Erdlöcher auf ihre Lichtempfindlichkeit zu prüfen, unmöglich bestimmtere Resultate ergeben konnte. Wenn man beispielsweise einen Regenwurm bald mit rothem, bald mit blauem Lichte beleuchtet, und dabei keinen Unterschied wahrnimmt, so darf daraus doch sicherlich nicht der Schluss gezogen werden, dass unsere Thiere gegen die erwähnten Lichtunterschiede überhaupt gleichgiltig seien. Um nämlich die Empfindlichkeit dieser und anderer Thiere gegen relativ kleine Lichtunterschiede zu untersuchen, ist es doch unbedingt nothwendig, erstens, dass man mit einer grösseren Anzahl von Objecten operirt und zweitens, dass man die betreffenden differenten Reize gleichzeitig und derart auf sie einwirken lässt, dass es ihnen leicht wird, zwischen denselben eine Wahl zu treffen.[1]

Zu dem Ende bediente ich mich nun zunächst eines besonders hiezu construirten Versuchskastens von folgender Beschaffenheit: Derselbe hat eine parallelipipedische Form und ist, da er zugleich zur Aufnahme von Wasserthieren bestimmt ist, aus (schwarz lakirtem) Blech gearbeitet. Er besteht aus mehreren unter sich vollkommen gleichen Abtheilungen oder Zellen. Dieselben sind 12 Ctm. breit, ebenso lang und 15 Ctm. hoch. Die Vorder- und Rück-

---

[1] In meinem Hauptwerke bezeichne ich ersteres Verfahren als Methode der partiellen und die von mir angewendete als solche der totalen Belichtung.

wand der Zellen besteht aus einem Fenster von ganz reinem Glas das im Rahmenwerk wasserdicht eingekittet ist. Letzteres trägt ferner aus- und inwendig mehrere Fugen zum gelegentlichen Einschieben diverser Glasscheiben und parallelwandiger Flaschen. Die Zellen haben auch je einen besonderen Deckel und können durch verticale Schieber von einander separirt werden.

Was dann das eigentliche Untersuchungsverfahren betrifft, so war es im Allgemeinen dieses. Durch Einsetzen zweier Schieber wurde zunächst der Kasten in drei Abtheilungen gebracht, von welchen jede je zwei Vorder- und zwei Hinterfenster besass. Letztere wurden aber bei allen nachstehenden Versuchen mit den Regenwürmern, sowohl als mit den Salamandern durch Blechschieber verdeckt, so dass also das Licht nur von einer Seite, d. i. durch die Vorderfenster einfallen konnte.

Den Boden jeder Zelle bedeckte ich ferner mit einer Schichte von Erdschlamm, die so dünn war, dass sich die Regenwürmer darin nicht verbergen konnten. Der Schlamm sollte ihnen nur als schlüpfrige Unterlage dienen, beziehungsweise das Eintrocknen derselben verhindern.

Um dann weiters die gewünschten Lichtunterschiede zu erhalten, wurden die beiden Fenster jeder Doppelkammer benützt, indem ich z. B. das eine unbedeckt liess, das andere aber durch ein eingeschobenes schwarzes Brettchen verfinsterte, oder, bei den Versuchen mit farbigem Licht, vor das eine ein rothes vor das andere ein blaues, resp. ein grünes etc. Medium einschaltete.

Die eigentliche Ausführung des Versuches war dann sehr einfach. Zu Beginn desselben gab ich in jede Abtheilung eine grössere Anzahl (meist 20—30) frisch aus den Vorrathstöpfen ausgegrabene Würmer, die möglichst gleichmässig über den ganzen Boden zerstreut wurden. Der Kasten kam dann an ein nach Norden gelegenes Fenster, so dass die Würmer stets nur von diffusem Tageslicht beleuchtet wurden.

In gemessenen Zeiträumen — wo nichts Anderes angegeben ist jede Stunde — wurde dann die Zahl der in den zwei verschieden belichteten Zellen jeder Abtheilung befindlichen Exemplare bestimmt, worauf ich die Thiere wieder gleichmässig vertheilte und ausserdem noch die Lage der lichtabsorbirenden Medien veränderte. Da unsere Würmer aus ihrem natürlichen

Element herausgenommen, bald matt und träg werden, so wurde von Zeit zu Zeit (meist alle 4 Stunden) frisches Material genommen.

Was die Anordnung meiner Untersuchungen betrifft, so theile ich sie in der Reihenfolge mit, wie sie angestellt wurden.

Ich prüfte zuerst die Empfindlichkeit unserer Thiere gegen quantitative Lichtunterschiede, dann jene gegen qualitative Differenzen und machte dann drittens — worauf ich das Hauptgewicht lege — Experimente in Bezug auf die angebliche Localisirung der Lichtempfindlichkeit.

A) Empfindlichkeit der Regenwürmer gegen quantitative Lichtunterschiede.

Der erste Versuch bestand darin, dass ich unseren Thieren die Wahl liess zwischen einem relativ hellen und einem verhältnissmässig sehr dunkeln Aufenthalt, und wurde dieser Unterschied in der Weise hergestellt, dass ich das eine Fenster jeder Kasten-Abtheilung unbedeckt liess, das andere aber mit einem schwarzen Brettchen verfinsterte.

Die einzelnen Besucherzahlen bei sieben Ablesungen waren nun folgende:

Hell (h)	12	1	7	10	2	3	5
Dunkel (d)	28	39	33	30	28	27	25

Daraus ergibt sich für die helle Abtheilung die Gesammtsumme von 40, für die dunkle von 210 Besuchern. Das Verhältniss zwischen diesen beiden Zahlen bezeichne ich als Reactions-Quotient.

$$\text{derselbe ist } \frac{d}{h} = \frac{210}{40} = 5{\cdot}2$$

Mit Rücksicht auf diese Zahlen kann es wohl absolut keinem Zweifel unterliegen, dass den Regenwürmern ein höherer Betrag von Lichtintensität sehr unangenehm ist, und will ich in Bezug auf den Grad ihrer Lichtscheu schon an dieser Stelle erwähnen, dass dieselbe, wie mich meine ausgebreiteten Untersuchungen lehren, viel grösser ist als bei vielen gleichfalls photo- oder richtiger leukophoben Augen-Thieren, z. B. beim Blutegel, bei diversen Schmetterlingraupen u. s. w., insoferne bei den letzteren die Zahl

der Dunkel-Besucher nicht 5 mal, sondern circa nur 2 mal grösser als jene der Hell-Besucher ist.

Die Regenwürmer reagiren aber nicht nur auf so grosse Differenzen in der Lichtintensität, wie sie beim erwähnten Grundversuch zur Geltung kamen, sondern auch — und dies festzustellen, liess ich mir besonders angelegen sein — auf relativ sehr geringe Unterschiede.

Der betreffende Versuch wurde in der Weise gemacht, dass ich vor dem einen Fenster jeder Doppelkammer nicht ein Brettchen sondern eine Scheibe aus Milchglas einschob, das, wie die photometrische Bestimmung ergab, circa nur zweimal weniger Licht als das andere Fenster durchliess.

Die beiderseitigen Besucherzahlen sind folgende:

I. { Reines Glas: 12, 7, 12, 12, 4, 8, 14, 16, 9, 16, 13, 7,
Milchglas: 18, 13, 18, 18, 26, 22, 16, 14, 21, 14, 17, 23,

II. { Reines Glas: 8, 10, 12, 19, 21, 4
Milchglas: 22, 20, 18, 11, 9, 26.

Demnach waren in der helleren Kammer zusammen 204, in der weniger hellen 326, also um 122 mehr als in der ersteren.

Ist dieser Unterschied auch, namentlich gegenüber dem früheren, nicht sehr gross, so ist er doch immerhin so bedeutend, dass es, meiner Ansicht nach, als vollkommen sichergestellt betrachtet werden kann, dass die Regenwürmer die bezeichnete Lichtdifferenz zu unterscheiden befähigt sind, und dürfen wir mit Rücksicht auf die Höhe des Frequenz-Unterschiedes ganz ruhig annehmen, dass unsere Thiere auch noch auf viel geringere Schwankungen der Lichtintensität reagiren, und insbesondere, dass sie solche noch wahrzunehmen befähigt sind.

Zur näheren Begründung dieser meiner Behauptung will ich nur noch kurz anführen, dass ich bei einem unter sonst gleichen Umständen ausgeführten Probeversuch mit einer starken Petroleumflamme für das Hell die Zahl 13, für das Wenigerhell die Zahl 47 erhielt.

B) Empfindlichkeit der Regenwürmer gegen qualitative Lichtunterschiede.

Während bekanntlich Darwin angibt, dass die Qualität des Lichtes „allem Anschein nach" für unsere Thiere gleichgiltig ist, liefern meine einschlägigen Experimente den Beweis, dass sie im Gegentheil von den differentfarbigen Lichtarten in sehr verschiedenem Grade afficirt werden.

Ehe ich aber die betreffenden Resultate mittheile, muss ich früher noch kurz hinsichtlich der angewandten Methode auf einen wichtigen Punkt aufmerksam machen.

Die bisherigen Experimente, speciell jene Lubbock's bei den Bienen, wurden, wie ich schon anderwärts[1] hervorhob, ohne entsprechende Berücksichtigung der Intensität der zur gleichzeitigen Einwirkung gebrachten farbigen Lichtarten angestellt, und haben daher die betreffenden Beobachtungen zum Theil wenigstens nur einen sehr bedingten Werth.

Am Einfachsten liesse sich selbstverständlich diesem Übelstande begegnen, wenn man den zum Versuch verwendeten farbigen Lichtern genau die gleiche Intensität zu geben im Stande wäre.[2] Da dies aber in der Praxis sehr schwer durchführbar ist, so bediente ich mich hier, sowie bei allen meinen einschlägigen Forschungen, der Methode des übermerklichen Unterschiedes. Ich nahm nämlich von den zur Vergleichung kommenden zwei Farben bald die eine bald die andere um einen sehr augenfälligen Betrag dunkler resp. heller als die zweite. Zeigt sich nun z. B., dass ein Thier, das in Bezug auf das weisse Licht, wie gerade der Regenwurm, eine geringere Intensität einer höheren vorzieht, wenn ihm die Wahl, sagen wir, zwischen Roth und Blau gelassen wird, ersteres dem letzteren nicht nur dann vorzieht, wenn es dunkler wie dieses ist, sondern auch in dem Fall, wenn es sehr

---

[1] Vgl. mein oben citirtes Referat pag. 115.

[2] Mereschowsky (s. o.) war der erste, der die Helligkeit berücksichtigte; ich muss es aber dahin gestelltt sein lassen, ob es ihm wirklich gelungen ist, den angewendeten differentfarbigen Medien genau die gleiche Helligkeit zu geben.

merklich heller ist, dann ergibt sich von selbst, dass das betreffende Thier dem Roth auch dann vor dem Blau den Vorzug gibt, wenn die Intensität beider Farben die gleiche ist.

Nachdem ich mich durch einige Versuche überzeugt hatte, dass der Regenwurm factisch vom Roth angezogen, dagegen vom Blau abgestossen wird, nahm ich bei allen weiteren Experimenten das Blau weit dunkler als das Roth. [1]

Die betreffenden Besucherzahlen sind nun folgende:

Hell Roth	18,	14,	19,	14,	18,	16,	17,	14,	18,	15,	17,	13
Dunkel Blau	2,	16,	1,	6,	2,	4,	3,	6,	2,	5,	3,	7

Und daraus ergibt sich der Roth-Blau-Quotient

$$\frac{R}{B} = \frac{193}{57} = 3{\cdot}4$$

Halten wir uns gegenwärtig, dass die Regenwürmer mit Rücksicht auf die Lichtintensität entschieden der blauen Abtheilung den Vorzug geben würden, so kann es Angesichts der Thatsache, dass sie gleichwohl die rothe fast viermal häufiger aufsuchen, wohl absolut nicht länger zweifelhaft sein, dass sie wirklich gegen qualitative Lichtunterschiede empfindlich und zwar mit Rücksicht auf die bei vielen Augenthieren erzielten Resultate sogar ausserordentlich empfindlich sind.

Um zu ermitteln, inwieweit unsere Thiere nicht nur das uns sichtbare Blau resp. Violet, sondern auch das Ultraviolet fliehen, schaltete ich vor dem einen Fenster der Beobachtungszellen eine 4 Ctm. dicke Schichte von Schwefelkohlenstoff ein, und dämpfte das ultraviolethältige weisse Licht des anderen Fensters durch ein Milchglas.

---

[1] Das betreffende rothe Medium (Überfangglas) gibt Strahlen von 0·00076—60 Mm. W.-L., das blaue (Lösung von Kupferoxyd-Ammoniak) solche von 0·00051—40 und darüber. Die Insensitätsbestimmung geschah nach einer in meinem Hauptwerke näher zu erörternden Methode. Roth machte das Licht ca. 15 mal, blau 40 mal dunkler. Blaues Kobaltglas gab im Ganzen dasselbe Resultat wie die genannte mehr monochromatische Lösung.

Das Ergebniss von fünf Ablesungen war:

ultraviolet-loses Weiss (Schwefelkohlenstoff) 19, 20, 13, 18, 17
relativ hell
ultraviolet-hältiges Weiss 1, 0, 7, 2, 3
relativ dunkel

$$Q = \frac{87}{13} = 6{\cdot}6$$

Darnach erweisen sich also die Regenwürmer als in hohem Grade ultraviolettscheu.

Der dritte Versuch geschah dann mit Grün [1] und Blau, wobei wieder letzteres mindestens zweimal dunkler als ersteres genommen wurde.

Die Besucherzahlen sind:

Hell- Grün:	15,	18,	20,	15,	15,	13,	14,	13,	15
Dunkel-Blau:	5,	2,	0,	5,	5,	7,	6,	7,	5

woraus der Grün-Blau-Quotient

$$\frac{G}{B} = \frac{138}{42} = 3{\cdot}3 \text{ resultirt.}$$

Die Regenwürmer unterscheiden also nicht nur zwischen den äussersten Grenzen des (uns sichtbaren) Spectrums, ich meine zwischen Roth und Blau, sondern sie nehmen auch geringere Differenzen der Wellenlänge wahr.

Endlich machte ich noch einen Versuch mit rothem und grünem Licht, wobei letzteres abermals im Vergleich zu ersterem beträchtlich dunkler war.

Ich notirte für

Hell- Roth:	11,	14,	14,	16,	16,	12,	13,	16,	11,	16,	15,	14
Dunkel-Grün:	9,	6,	6,	4,	4,	8,	7,	4,	9,	4,	5,	6

Auch bei dieser Zusammenstellung ist der Unterschied grösser, als bei vielen höheren Augenthieren; da indess der betreffende Roth-Grün-Coëfficient

---

[1] Das betreffende grüne Glas gibt Strahlen von 0·00058—47 Mm. W.-L., das blaue Medium war dasselbe wie oben.

$$\frac{R}{G} = \frac{168}{72} = 2 \cdot 3$$

beträchtlich kleiner als bei Roth-Blau (3·4) ist, so darf man annehmen, dass den Regenwürmern das Licht mittlerer Wellenlänge (d. i. das grüne) im Vergleich zum langwelligen Roth weniger unangenehm als das kurzwellige Blau, Violett und Überviolet ist.

C) Nachweis, dass die ganze Haut des Regenwurms lichtempfindlich ist.

Nach den schon früher mitgetheilten Beobachtungen von Hoffmeister und Darwin soll bekanntlich bei den Regenwürmern die Lichtempfindlichkeit ausschliesslich nur auf das vorderste (cerebrale) Körperende beschränkt sein. Begreiflicherweise war mir nun ganz besonders daran gelegen, die Richtigkeit dieser Angabe eingehender zu prüfen. Hätten nämlich die genannten Forscher wirklich Recht, so dürfte man ja strenge genommen, nicht mehr von photosommatischen Reactionen der augenlosen Thiere sprechen und wäre insbesondere auch nicht zu erwarten, dass die Haut als solche bei den mit Augen versehenen Thieren irgend welche Lichtempfindlichkeit besitze.[1]

Man wird aber zugeben, dass die erwähnte Ansicht von der Localisirung der Lichtempfindlichkeit bei unseren Thieren schon a priori sehr fraglich erscheint, und zwar einfach deshalb, weil die histologische Beschaffenheit der Haut des vorderen Körperendes im Wesentlichen ganz dieselbe ist wie an den übrigen Leibesabschnitten und daher nicht einzusehen ist, warum den peripheren Grenzzellen des vorderen Körperendes Eigenschaften zukommen sollen, die den Elementen der anderen Hautstrecken gänzlich fehlen.

Ich gehe nun an die Mittheilung meiner einschlägigen Untersuchungen. Um zu erfahren, ob auch die nicht cerebralen Hautbezirke des Regenwurms photopathisch sind, wäre die zunächst angezeigte Methode offenbar die, das vordere Körperende

---

[1] Ich erwähne im Vorbeigehen, dass nach Engelmann bei Euglena vorwiegend nur das vordere ciliophere (resp. orale) Ende photopatisch ist.

mit einer das Licht ausschliessenden, resp. absorbirenden Hülle zu umgeben. Wegen der hochgradigen Contractionsfähigkeit des ganzen Wurmleibes erwiesen sich aber alle diesbezüglichen Versuche, wie z. B. das Anbinden eines Futterals, das Überziehen des Vorderendes mit heissem schwarzen Wachs u. s. w. als vergeblich, und so blieb mir schliesslich kein anderes Auskunftsmittel übrig, als den Versuchsthieren das vordere Körperende (meist in einer Ausdehnung von 4—5 Ringen) abzuschneiden.

Bedenkt man, dass bei dieser grausamen Operation der ganze Schlundnervenring entfernt wird, dass ferner meist eine sehr starke Blutung stattfindet, und dass es sich hier überhaupt um einen ganz gewaltigen Eingriff in das Leben des Wurmes handelt, so sollte man wohl kaum erwarten, dass die betreffenden Thiere unter solchen Umständen überhaupt noch auf Lichteindrücke zu reagiren im Stande wären.

Um so überraschender ist es, dass dies dennoch und zwar in ganz unzweideutiger Weise geschieht.

Ich untersuchte zunächst das Verhalten der decapitirten Würmer gegen Hell und Dunkel, indem ich wie oben ein Fenster jeder Doppelzelle mit einem Brettchen verfinsterte.

Auf den Boden der hellen und dunklen Kammer gab ich je 15, bez. 10 Thiere, die möglichst gleichmässig vertheilt wurden.

Da begreiflicherweise die Bewegungen der geköpften Würmer viel langsamer wie jene der unlädirten sind, und sie also viel länger wie diese herumkriechen müssen, bevor sie den ihnen am meisten zusagenden Standort erreichen, so wurden die Ablesungen nur alle 3—4 Stunden vorgenommen.

Ich bemerke ferner noch ausdrücklich, dass auch bei diesen Versuchen nach jeder Ablesung die Thiere wieder gleichmässig über den ganzen Boden der Kammer vertheilt wurden und dass ich jedesmal auch die Lage des dunklen Fensters wechselte.

Die Frequenzziffern waren nun folgende:

Am 1. Tag	Hell	2,	1,	3,	10					
	Dunkel	28,	29,	27,	20					
Am 2. Tag	Hell	6,	10,	10,	3,	6,	8,	6,	9,	8
	Dunkel	14,	10,	10,	17,	14,	12,	14,	11,	12

Beachten wir nun bezüglich dieser Zahlen, dass bei 13 Beobachtungen kein einziges Mal die helle Abtheilung stärker wie die

dunkle besucht war, dass dagegen 11 mal die letztere bevorzugt wurde, und dass überhaupt die Gesammtsumme der Dunkelkammer-Besucher (218) beinahe 3 mal (2·6) so gross war wie jene der Hellkammer-Besucher (82), so darf es wohl als ausgemacht betrachtet werden, dass die Regenwürmer auch ohne Hilfe des vorderen Körperendes grössere Helligkeits-Differenzen unterscheiden, dass also ihre gesammte Haut lichtempfindlich ist.

Sehr gespannt war ich selbstverständlich darauf, zu erfahren, ob sich diese Lichtempfindlichkeit der geköpften Regenwürmer auch auf die Farbenunterscheidung erstrecke.

Ich machte diesbezüglich nur einen ausgedehnteren Grundversuch, nämlich mit rothem und blauem Licht, wobei ersteres wieder aus den oben angegebenen Gründen heller wie letzteres genommen wurde.

Das Ergebniss war:

Hell-Roth:	23,	13,	17,	13,	14,	16
Dunkel-Blau:	7,	7,	3,	7,	6,	4

$$\text{Roth-Blau-Quotient } \frac{R}{B} = \frac{96}{34} = 2{\cdot}8$$

Diese Zahlen lassen wohl keinen Zweifel, dass factisch auch die geköpften Regenwürmer chromopathisch sind und will ich nur noch beifügen, dass sie das Roth nicht nur dem relativ ferne liegenden Blau, sondern auch, wenn auch minder entschieden, dem Grün vorziehen.

Mit Rücksicht darauf, dass die in Rede stehenden Licht-Reactionen der decapitirten Regenwürmer ohne Hilfe der sogenannten Gehirn-Ganglien sich abspielen, könnte schliesslich die Frage aufgeworfen werden, ob denn den betreffenden Fluchtbewegungen ein wirkliches Lichtempfinden zu Grunde liege, oder ob man es mit blossen Reflexwirkungen zu thun habe.

In dieser Beziehung möchte ich nun kurz Folgendes bemerken:

Zunächst können wir uns absolut keine richtige Vorstellung darüber bilden, wie denn eigentlich Lichtreize auf die unversehrten Regenwürmer einwirken und kann ich den einschlägigen Aus-

einandersetzungen Darwin's, nach welchen gewisse psychische Erscheinungen unserer Thiere, wie z. B. die Aufmerksamkeit, gegen den reflectorischen Charakter der in Rede stehenden Reactionen sprechen sollten, nicht ohne Weiteres vollständig beipflichten.

Eines aber scheint mir auf Grund der obigen Versuche sichergestellt, dass nämlich die Lichteinwirkung auf die decapitirten Thiere nicht so wesentlich von jener auf den unversehrten Organismus verschieden ist, dass der Vorgang das einemal als ein reflectorischer, das anderemal aber als ein seelischer aufgefasst werden dürfte, und möchte ich mit Rücksicht auf den schon geltend gemachten Umstand, dass die geköpften Thiere eines eigentlichen Gehirns ermangeln, noch hinzufügen, dass letzteres ja in seinem ganzen Bau und Verhalten sich nicht in dem Grade vor den übrigen metamerischen Leibesganglien auszeichnet, dass wir zur Annahme berechtigt wären, das, was wir mit Darwin kurz die Seele des Regenwurms nennen, hätte ausschliesslich nur in diesem und nicht auch in den übrigen Nervencentren seinen Sitz.

II. Die Helligkeits- und Farbenempfindlichkeit der geblendeten Augenthiere.

Die Eingangs gemachte Bemerkung, dass sich alle neueren Experimente über nicht durch die Augen vermittelte Wirkungen des Lichtes lediglich darauf beschränken, den Einfluss dieses Agens auf den allgemeinen Stoffwechsel und speciell auf die Respiration zu studieren oder, kurz gesagt, den rein materiellen Erfolg der photosommatischen Vorgänge kennen zu lernen, bezieht sich speciell auf die in Rede stehenden Thiere.

So lehrreich und unter Umständen praktisch wichtig es nun auch sein mag zu ermitteln, ob ein geblendetes Thier unter dem Einfluss eines gewissen Lichtes mehr oder weniger Kohlensäure producire als im normalen Zustand, oder, ob es sich rascher oder weniger rasch entwickele, und wie es mit seiner Gewichtszunahme bestellt sei, so wird man doch wohl nicht läugnen dass die Erforschung des psychischen Verhaltens, oder, allgemeiner gesprochen, die Frage, ob und inwieweit bei geblendeten Thieren durch Lichtdifferenzen das Empfinden, resp. der Gefühls-

zustand beeinflusst wird, doch mindestens ebenso interessant und wichtig ist.

Ich möchte in dieser Beziehung in Kürze speciell auf einen Umstand aufmerksam machen.

Wenn gewisse augenlose Thiere, woran nach dem Früheren nicht gezweifelt werden kann, Lichtunterschiede nicht nur überhaupt, ich meine auf indirectem Wege, sondern direct und unmittelbar durch die Haut wahrnehmen, dann ist es, da die specifisch optischen Einrichtungen, ich meine die retinalen Zellen, wo nicht ganz allgemein, so doch in den meisten Fällen aus der allgemeinen Haut sich differenciren, a priori wohl auch sehr wahrscheinlich, dass, in gewissen Fällen wenigstens, die Haut der Augenthiere auch noch nach vollendeter Ausbildung der localisirten Sehorgane eine gewisse Lichtempfindlichkeit besitzt, und dies, wie man sieht, phylogenetisch so hochwichtige Verhalten zu prüfen, ist doch unstreitig eine sehr dankenswerthe Aufgabe.

Um so auffallender ist es nun, dass bisher, so viel mir bekannt ist, zu deren Lösung auch nicht einmal ein Versuch gemacht worden ist.

Man findet nämlich in der so überaus reichen Literatur der physiologischen Optik die allerdifficilsten Gegenstände behandelt, man findet u. A. auch Untersuchungen darüber, wie ausgeschnittene Augen und Augentheile auf das Licht reagiren [1]; in Bezug auf den umgekehrten Fall aber, d. i. über die photokinetischen Reactionen der Thiere nach Entfernung ihrer Augen, ist mir auch nicht eine einzige Arbeit bekannt, und unter so bewandten Um-

---

[1] Vgl. zunächst Edgren J. G. Naagra undersökningar öf ver iris rörelsemeckanism hos grodan. Med 8, Taf. Upsala. läkaraförenings förhandlingar Bd. XI, p. 185 und Holmgren F. Betraktelser i anledning af J. G. Edgrens arbeta. Ebenda, S. 222. Darnach zeigen sich die Augen des Frosches und Kaninchens noch Stunden lange nach der Exstirpation, resp. nach der Durchschneidung des Opticus lichterregbar. Noch interessanter sind die Experimente von Gysi E. und Luchsinger über das Verhalten der Aaliris gegen verschiedenfarbiges Licht. Med. Centralblatt XVI, 39 pag. 691, nach welchen die isolirte Iris des Aals und anderer Thiere vornehmlich nur durch grünes und blaues Licht gereizt wird.

ständen dürften nun wohl die im Nachstehenden mitgetheilten Experimente einiges Interesse verdienen.

Als Hauptobject zu den in Rede stehenden Studien wählte ich unseren gemeinen Wassermolch *(Triton cristatus)* und zwar aus folgenden Gründen. Erstens ist nämlich dieser Lurch, wie sich aus gewissen Vorversuchen ergab, sowohl gegen quantitative als auch gegen qualitative Lichtunterschiede ganz ausserordentlich empfindlich und zweitens bietet die Haut desselben theils wegen ihrer Zartheit, theils wegen der darin vorkommenden Pigmentzellen für die Vermittlung von Lichtreizen ungemein günstige Bedingungen dar.

Aus den gleichen Ursachen wurden ferner nicht ausgewachsene, sondern junge Thiere, die eben die Kiemen verloren hatten, verwendet.

Was das Untersuchungsverfahren betrifft, so war es im Wesentlichen genau dasselbe, wie ich es oben in Bezug auf die Regenwürmer angegeben habe, nur mit dem Unterschiede, dass der Boden des Kastens nicht mit Schlamm, sondern mit einer niederen Wasserschichte bedeckt wurde, und dass die Ablesung wegen der grösseren Agilität der Tritonen mindestens jede Viertelstunde erfolgte.

Erwähnt mag auch noch werden, dass die betreffenden Versuche im Spätsommer bei einer Durchschnittstemperatur von 18° C. gemacht wurden.

A) Verhalten der normalen und der geblendeten Salamander gegen quantitative Lichtunterschiede.

Wie früher bei den Regenwürmern, wurde der betreffende Grundversuch in der Weise angestellt, dass ich unseren Thieren die Wahl liess zwischen einer hellen Zelle und einer anderen, die durch Verhängung des Fensters verdunkelt worden war.

Im Nachfolgenden gebe ich zunächst für die normalen (ophthalmoptischen) Thiere das Resultat von 8 Ablesungen.

Hell (h)	0,	0,	0,	0,	1,	0,	0,	0	Sh = 1
Dunkel (d)	20,	20,	20,	20,	19,	20,	20,	20	Sd = 159

Diese Beobachtungen, die ich wegen der überraschenden Übereinstimmung der betreffenden Zahlen, nicht weiter fortsetzen

zu müssen glaubte, zeigen wohl auf das evidenteste, dass der Wassersalamander unter normalen Umständen ein entschieden *weissfliehendes* oder *leukophobes* Thier ist und der Umstand, dass im Allgemeinen sämmtliche Thiere immer aus der hellen in die dunkle Abtheilung herüber kriechen, macht es sehr wahrscheinlich, dass denselben das gewöhnliche Tageslicht mindestens ebenso unangenehm ist, wie uns das direct in das Auge fallende Sonnenlicht.

Um nun zu erfahren, wie unsere Thiere ohne Hilfe der Augen auf Hell und Dunkel reagiren, zog ich letztere mittelst einer Pincette sorgfältig heraus und geschah die Operation meist so, dass auch ein Stück des Sehnervs am exstirpirten Bulbus hängen blieb.

An den nach der angegebenen Weise geblendeten Thieren machte ich nun zunächst 18 Beobachtungen, die ich in zwei Reihen geordnet mittheile:

I. Reihe	Hell	10,	8,	9,	7,	9,	7,	12,	10,	15	Sh = 87
	Dunkel	16,	18,	17,	19,	17,	19,	13,	15,	10	Sd = 144

$$\text{I.} \frac{d}{h} = 1 \cdot 7$$

II. Reihe	Hell	6,	4,	8,	8,	5,	2,	6,	6,	3	Sh = 48
	Dunkel	19,	20,	16,	16,	18,	21,	17,	17,	20	Sd = 164

$$\text{II.} \frac{d}{h} = 3 \cdot 4$$

Ist nun auch hier der Unterschied zwischen den Hell- und Dunkel-Besuchern bei Weitem nicht so auffällig, wie bei den ophthalmoptischen Individuen, so muss doch, wie ich glaube, aus den vorstehenden Zahlen unbedingt der Schluss gezogen werden, dass unsere Thiere factisch auch ohne Hilfe der Augen gegen grössere Helligkeitsdifferenzen empfindlich, resp. leukophob sind.

Nun stellte ich mir aber zunächst die weitere Frage, ob denn dieses Erregtwerden der geblendeten Salamander durch das Licht auch wirklich durch die Haut bedingt sei oder ob es sich hiebei nicht etwa um eine directe Afficirung des Gehirns handle, indem möglicherweise das Licht durch die (freilich bald nach der Ope-

ration zusammenfallenden) Augenhöhlen unmittelbar auf die Centralorgane einwirkt.

Um nun Letzteres ganz zu verhindern, füllte ich die früher gut ausgetrockneten Augenhöhlen mit schwarzgefärbtem Wachs aus (das, damit es gut hafte, so heiss als möglich aufgetragen werden muss) und versah ausserdem noch den ganzen Schädel mit einer Kappe von gleichem Material.

Mit den auf die angegebene Weise adjustirten Thieren wurden nun nicht weniger als 80 Ablesungen gemacht; ich theile aber im Nachstehenden nur die Summen von je 10 Frequenzzahlen mit:

	Hell	Dunkel	Dunkel-Hell Quotient
I. Reihe	92	129	1·4
II. "	84	177	2·1
III. "	78	151	1·9
IV. "	78	122[1]	1·5
V. "	49	133	2·7
VI. "	44	128	2·9
VII. "	52	128	2·4
VIII. "	59	121	2·1
Gesammtsumme:	536	1089	Mittel: 2·0

Beachten wir nun einerseits, dass, wie vorstehende Zahlen lehren, die dunkle Zelle durchschnittlich zweimal so stark wie die helle besucht war (unter 80 Beobachtungen befand sich die Mehrzahl der Thiere 71mal im dunklen Raum), und anderseits, dass unter den angegebenen Umständen das Licht unmöglich unmittelbar auf das Gehirn einwirken konnte, so ist wohl der exacte Beweis erbracht, erstens, dass die geblendeten Tritonen gegen Helligkeitsdifferenzen empfindlich sind und zweitens, dass diese Empfindlichkeit entweder in der Haut ihren Sitz hat oder doch wenigstens durch dieselbe vermittelt wird.

[1] Hier, wie bei manchen der übrigen Versuchsreihen, war die Zahl der Thiere nicht immer dieselbe, da nicht selten einzelne zu Grunde gingen und nicht sofort durch neue ersetzt werden konnten.

B) Verhalten der normalen und der geblendeten Salamander gegen qualitative Lichtunterschiede.

Nachdem ich mich überzeugt hatte, dass der geblendete Salamander auf quantitative Lichtunterschiede reagirt, gieng ich selbstverständlich sofort daran zu untersuchen, ob sich seine Phootopathie auch auf qualitative Differenzen erstreckt.

Aufrichtig gestanden hatte ich aber wenig Hoffnung zu einem entschiedenen, positiven Resultat zu gelangen und zwar deshalb, weil, wie mich schon früher meine anderweitigen Experimente gelehrt hatten, Thiere mit relativ schwachem Helligkeits-Gefühl in der Regel auch einen geringen Farbengeschmack besitzen.

Was frühere Beobachtungen dieser Art betrifft, so kenne ich nur eine einzige, die aber ein durchaus negatives Resultat ergab. Dem bekannten Werke von Allen Grant[1] entnehme ich nämlich, dass Kühne[2] gelegentlich die Beobachtung machte, dass Frösche unter sonst gleichen Umständen das grüne Licht dem blauen bei Weitem vorziehen, dass aber blinde Frösche keinerlei Bevorzugung der einen oder der anderen Farbe zeigen[3].

Ich beginne wieder mit der Darstellung des Verhaltens bei den ophthalmoptischen Thieren, muss aber bemerken, dass ich von den einschlägigen überaus eingehenden Experimenten nur

---

[1] The colour sense, its origin and developpment. An essay in comparativ psychologie 8° London 1879. Dasselbe in deutscher Übersetzung in den Darwinisti'schen Schriften Nr. 7, 1880, XII, 274. S.

Indem ich mir ein näheres Eingehen in die auf unsere Frage bezüglichen Ansichten von Grant für später vorbehalte, möchte ich an dieser Stelle nur das Eine betonen, dass, wenn Grant speciell in Bezug auf die Insecten sagt (pag. 83) „Experiments of the sort are difficult to devise, and still more difficult to carry aut successfully to any definite result" dies nach meiner Erfahrung durchaus nicht richtig ist, da die meisten der von mir geprüften Thiere geradezu überraschend stark reagiren.

[2] Untersuchungen aus d. physiol. Institut zu Heidelberg. Bd. 1, Hft. 2.

[3] Nach meinen sehr eingehenden Untersuchungen verhalten sich die Frösche ähnlich wie der Wassersalamander, nur sind sie verhältnissmässig viel gleichgiltiger. Gleich dem Triton sind sie ausgesprochen erythrophil, indem sie u. A. das Roth dem Grün selbst dann vorziehen, wenn letzteres viel dunkler als ersteres ist. Im Ganzen ist aber der

jene mittheile, die zugleich auch mit den geblendeten angestellt wurden.

Zuerst wurde der Versuch mit rothem[1] und blauem Licht gemacht, wobei aus den schon beim Regenwurm angeführten Gründen, d. h. weil unsere Thiere photophob sind, ersterem eine grössere Intensität gegeben wurde.

Das Ergebniss von 10 Ablesungen war:

Hell- Roth	192	$\frac{R}{B} = 24$
Dunkel-Blau	8	

Diese Zahlen bedürfen wohl keines Commentars. Wenn nämlich der Salamander, obwohl er, wie wir oben sahen, ein ausgesprochenes Dunkelthier ist, die relativ sehr helle rothe Zelle 24mal häufiger besucht als die verhältnissmässig sehr finstere blaue, so darf man wohl mit aller Sicherheit annehmen, dass demselben das blaue Licht gegenüber dem rothen in hohem Grade unangenehm ist — und sei diesfalls noch ausdrücklich betont, dass es verhältnissmässig wenige Thiere gibt, die eine so ausgesprochene Antipathie gegen die kurzwelligen Strahlen besitzen[2].

Sehen wir nun, wie sich die geblendeten Salamander verhalten. Ich machte diesfalls zwei grössere Versuchsreihen. Bei der ersten nahm ich Roth und Blau von derselben Helligkeit wie bei den Experimenten mit den ophthalmoptischen Thieren, während ich bei der zweiten Serie das Roth fast so dunkel wie das Blau nahm.

Die erste Versuchsreihe besteht aus 50 Ablesungen, von denen ich je 10 zusammenfasse.

Licht-Reactions-Quotient der Frösche sogar kleiner als jener bei den der Augen beraubten Salamandern.

[1] Zu den in Rede stehenden Experimenten kamen dieselben Medien wie beim Regenwurm in Anwendung.

[2] Beim Frosch z. B. ergaben 35 Ablesungen das Resultat

Hell-Roth	Dunkel-Blau	Roth-Blau Quotient
857	544	1·6

	Hell-Roth	Dunkel-Blau	Roth-Blau Quotient
I. Decade	135	123	1·1
II. „	104	104	1·0
III. „	111	57	1·9
IV. „	98	59	1·7
V. „	88	63	1·4
Summe	536	406	1·3

Um vorstehendes Ergebniss richtig zu würdigen, wolle man Folgendes erwägen. Würden unsere geblendeten Salamander gegen qualitative Lichtdifferenzen unempfindlich und nur gegen quantitative empfindlich sein, dann müsste man, da ja das Blau dunkler als das Roth genommen wurde, erwarten, dass die meisten Thiere das letztere aufsuchen. Beachten wir nun, dass dies keineswegs der Fall war, indem von der Gesammtsumme von 942 Individuen 130 mehr im Rothen als im Blauen waren, so kann es wohl nicht länger zweifelhaft sein, dass auch der geblendete Salamander, ähnlich dem normal sehenden, nur in viel geringerem Grade, auf Roth und Blau, reagirt, resp. ersterem den Vorzug gibt.

Wie schon von vorne herein zu erwarten war, spricht sich die Vorliebe der geblendeten Salamander für das Roth gegenüber dem Blau noch viel deutlicher in der zweiten Versuchsreihe aus, wo die Intensitätsverhältnisse für den Roth-Besuch weit günstiger sind.

Hier das Ergebniss von 50 Ablesungen:

	Roth	Blau	Roth-Blau-Quotient
I. Decade	96	34	2·8
II. „	93	37	2·5
III. „	97	33	2·9
IV. „	92	38	2·4
V. „	96	34	2·8
Summe	474	176	2·7

Diesen für sich selbst sprechenden Zahlen glaube ich nur noch das Eine hinzufügen zu sollen, dass nämlich der Reactions-Quotient für Roth-Blau bei den geblendeten

Salamandern beinahe zweimal so gross ist wie (vgl. oben) bei den normal sehenden Fröschen.

Der nächste Versuch, den ich, und zwar ausschliesslich nur mit den geblendeten Salamandern, vornahm, bezog sich auf die Erforschung ihrer Empfindlichkeit gegenüber dem Ultraviolet.

Zu dem Zweck belichtete ich die eine Beobachtungszelle mit gewöhnlichem weissen Licht, die andere aber mit einem Weiss, in welchem (wie oben) durch Einschaltung einer 4 Ctm. dicken Schichte von Schwefelkohlenstoff das Ultraviolet abgeschnitten war.

Da aber das ultravioletlose Weiss — wenn ich die in Rede stehende Lichtqualität wieder so nennen darf — ein wenig dunkler als das ultraviolethältige, eigentliche Weiss ist, so dämpfte ich letzteres für den Versuch nach der oben entwickelten Methode dadurch unter den Intensitätsgrad des Schwefelkohlenstoff-Weiss ab, dass ich ein Milchglas einschob.

Das Ergebniss von 33 Ablesungen war:

	Weiss ohne Ultraviolett (rel. hell)	Weiss mit Ultraviolett (rel. dunkel)	Coefficient
I. Reihe	87	53	1·6
II. „	91	49	1·9
III. „	135	47	2·9
Summe	313	149	Mittel 2·1

Bedenken wir nun, dass das ultravioletlose Weiss, trotzdem es merklich heller als das ultraviolethältige war, dennoch mehr als zweimal so stark wie dieses besucht wurde (unter 33 Beobachtungen war die Mehrzahl der Thiere 29 mal in ersterer Abtheilung), so ist es wohl evident, dass auch die geblendeten Salamander den sogenannten dunkeln Strahlen ausweichen [1].

Bei dieser Gelegenheit mag noch erwähnt werden, dass das Reactionsverhältniss — und dies gilt auch für andere Qualitäten — sich umkehrt, wenn die Qualitäts-Differenz eine gewisse Höhe erreicht.

---

[1] Damit erhält denn auch meine gel. des Referates über S. J. Lubbock's Arbeiten ausgesprochene Vermuthung eine thatsächliche Basis.

Als ich nämlich das gewöhnliche Weiss durch eingeschobene Rauchgläser circa 50mal dunkler als das Schwefelkohlenstoff-Weiss machte, bevorzugten die Thiere nicht mehr das Letztere, sondern das erstere, dies aber offenbar der ausserordentlich geringen Intensität wegen.

Es muss einer besonderen eingehenden Arbeit vorbehalten bleiben, zu erforschen, ob von Fall zu Fall die Quantitäts- oder die Qualitäts-Componente die Richtung der Resultirenden bestimmt.

Ein weiterer Versuch diente zur Constatirung des Verhaltens gegenüber dem Grün und Blau. Aus bekannten Gründen wurde letzteres beträchtlich dunkler als ersteres genommen.

Hier das Resultat:

	Grün (hell)	Blau (dunkel)	Grün-Blau-Quotient
A) Bei den ophthalmop. Thieren			
(20 Beobachtungen)	299	98	3·1
B) bei den geblendeten Thieren			
(15 Beobachtungen)	131	79	1·6

Wie zu erwarten war, ist die Bevorzugung des Grün gegenüber dem Blau Seitens der normal sehenden Thiere eine minder auffallende (Quotient 3·1), wie bei Roth-Blau (24).

Um so mehr verdient es aber Beachtung, dass trotz alledem auch bei den geblendeten Thieren diese mit für sie ungünstigen Intensitäts-Verhältnissen verbundene Qualitäts-Differenz fühlbar wird.

Bemerkt sei noch, dass die Preferenz des Grün sowohl als des Roth gegenüber dem Blau auch dann noch (und zwar auch bei den geblendeten Thieren) besteht, wenn von letzterem durch Einschaltung von Schwefelkohlenstoff oder von doppeltchromsaurem Kali das Ultraviolet, beziehungsweise das Violet abgeschnitten wird.

Bezüglich der nächsten Versuche mit Roth-Grün und mit Roth-Gelb theile ich nur jene mit, die sich auf die geblendeten Thiere beziehen, da jene mit den ophthalmoptischen leider mit anderen Medien gemacht wurden und sonach eine strenge Vergleichung nicht durchführbar ist.

Hier die erhaltenen Besucherzahlen:

A) Roth-Grün	Roth (hell)	Grün (dunkel)	Roth-Grün Quotient
(12 Beobachtungen)	109	59	1·8
B) Roth-Gelb[1]	Roth (hell)	Gelb (dunkel)	Roth-Gelb-Coeffic.
(43 Beobachtungen)			
I. Reihe	81	55	1·5
II. „	60	63	0·9
III. „	84	46	1·8
IV. „	102	67	1·5
Summe	327	231	Mittel 1·4

Wie man sieht, ist insbesondere der Reactions-Quotient für Roth-Gelb (1·4) kein beträchtlicher; es ist aber hiebei vor Allem zu beachten, dass auch jener für die ophthalmoptischen Thiere nicht viel grösser ist, dass also unseren Thieren überhaupt der Unterschied zwischen Roth und Gelb, wobei letzteres ja auch viel Roth enthält, relativ wenig bemerkbar wird.

III. Über die Ursachen, beziehungsweise die Beschaffenheit der durch die Haut vermittelten Lichtempfindungen.

Die vorstehenden Experimente lassen wohl keinen Zweifel übrig, dass gewisse Thiere auch im augenlosen Zustand sowohl auf quantitative als auf qualitative Lichtunterschiede reagiren und darf ferner mit Rücksicht auf die gegebenen Umstände angenommen werden, dass diesen Reactionen gewisse Gefühls-Erregungen zu Grunde liegen.

Es erhebt sich nun aber die schon Eingangs berührte Frage, wie die betreffenden Lust- resp. Unlust-Empfindungen zu Stande kommen.

Nach der physiologischen Wirkung des Lichtes im Allgemeinen kann hier die Ursache einer Empfindungserregung eine dreifache sein.

---

[1] Das angewendete System gelber Gläser gab Strahlen von 0·00073—55 Mill. W. L. also ausser Gelb noch viel Roth und etwas Grün.

Es kann das Licht erstens als Wärme wirken, d. h. als solche durch Afficirung gewisser Hautnervenendigungen directe Wärmeempfindungen hervorrufen. Es kann zweitens chemische Processe oder Stoffumsetzungen verursachen und dadurch, also auf indirectem Wege (z. B. durch Anhäufung von Kohlensäure), das Allgemeingefühl beeinflussen und es kann endlich drittens als solches, und analog wie die Wärme, direct zur Empfindung gelangen. Die letzte Wirkung bezeichne ich kurz, im Gegensatz zu der durch die Augen vermittelten, als dermatoptische, womit aber keineswegs gesagt sein soll, dass dieses directe Lichtpercipieren vermittelst der Haut ein wirkliches Sehen sei.

Was nun zunächst die photothermischen Wirkungen betrifft, so ist leicht einzusehen, dass speciell beim geblendeten Salamander und unter den angegebenen Versuchsbedingungen, diese es nicht sein können, welche bei den beschriebenen Reactionen den Ausschlag geben, denn die betreffenden Experimente wurden ja alle mit diffusem Tageslicht angestellt, das, wenn es auch durch sehr verschiedene Medien hindurch geht, nur ganz verschwindend kleine Wärmedifferenzen ergibt.

Obwohl es nun unter den bezeichneten Umständen eigentlich gar keines weiteren Beweises mehr bedürfte, dass es sich hier nicht um thermische Einflüsse handelt, so unternahm ich doch noch, um jeden Zweifel zu beseitigen, einige Controlversuche, die ich nun, weil ihre Ergebnisse auch in anderer Beziehung lehrreich sind, in aller Kürze mittheilen will.

Zunächst war es mir darum zu thun, zu erfahren, ob denn unsere Thiere — und alle diese Versuche beziehen sich ausschliesslich nur auf geblendete Individuen — gegen relativ geringe Wärmeunterschiede besonders empfindlich sind.

Zu dem Behuf machte ich nun folgendes Experiment. Ich belichtete zwei aneinanderstossende Zellen des Versuchskastens durch eine starke Petroleumflamme, die, in einer Entfernung von circa 10 Ctm., derart situirt wurde, dass beide Abtheilungen genau dieselbe Helligkeit hatten.

Ausserdem wurde vor einer Zelle eine 6 Ctm. dicke Lage einer conc. und vollkommen wasserklaren Alaunlösung eingeschaltet, welche bekanntlich sehr stark wärmeabsorbirend wirkt. Das in der

letzteren Zelle hängende Thermometer zeigte im Mittel 18·4° C., jenes in der anderen Zelle 19·4°; der Unterschied betrug also circa 1° C.

Das Ergebniss von 20 Ablesungen war nun folgendes:

Es waren in der kälteren Zelle 126, in der wärmeren 134 Individuen. Diese Zahlen beweisen Zweierlei. Erstens, dass unsere Thiere gegen kleinere Differenzen der strahlenden Wärme sehr wenig empfindlich sind, und zweitens, dass die auffallenden Wirkungen, welche nach den früheren Versuchen bei Anwendung verschiedener Licht-Quantitäten und -Qualitäten zum Vorschein kommen, absolut nicht von der strahlenden Wärme herrühren können, denn wenn schon eine thermische Differenz von circa 1° C. keinen nennenswerthen Unterschied in der Frequenzziffer beider Zellen hervorbringt, so kann selbstredend eine so minimale Differenz, wie sie bei den betreffenden Experimenten mit diffusem Tageslicht anzunehmen ist, unmöglich jene relativ sehr bedeutenden Reactionen verursachen.

Da ich aber doch herausbringen wollte, ob unsere Thiere ein Plus oder ein Minus von strahlender Wärme vorziehen und der erste Versuch mit einer thermischen Differenz von 1° C. kein entscheidendes Resultat geliefert hatte, so versuchte ich es nun mit einem grösseren Unterschied. Zu dem Zwecke belichtete ich die beiden Zellen unter sonst gleichen Umständen mit directem Sonnenlichte.

Es zeigte das Thermometer in der kälteren (Alaun-)Zelle eine Temperatur von 22° C., jenes der wärmeren von 27·8° C.; die Differenz betrug also 5·8° C.

Unter diesen Umständen war nun auch die Besucherzahl der beiden Abtheilungen in der That eine sehr ungleiche.

29 Ablesungen ergaben nämlich für die kältere Zelle 258, für die wärmere 106 Besuche, und unterliegt es sonach keinem Zweifel, dass die Salamander, innerhalb der bezeichneten Grenzen, wärmefliehend oder thermophob sind.

Endlich machte ich noch einen dritten und wie sich zeigen wird, für unsere Frage sehr interessanten Versuch, indem ich auf die Thiere directes Sonnenlicht einerseits durch rothes Glas und andererseits durch ein blaues Medium nämlich durch die auch bei

den früheren Versuchen angewendete Lösung von Kupferoxyd-Ammoniak einwirken liess.

Unter der Annahme, dass das Licht bei den geblendeten Salamandern nur als strahlende Wärme zur Geltung komme, müsste man selbstverständlich erwarten, dass sie den Aufenthalt in der blauen Zelle jenem in der rothen vorziehen würden, denn letztere lässt ja viel mehr Wärme als erstere durch. Die directe Beobachtung zeigt aber am Besten, wie irrthümlich eine solche Annahme wäre.

28 Ablesungen ergaben nämlich:

Für das Blau 77 Besucher
" " Roth 249 "

Erinnern wir uns, dass beim Roth-Blau-Versuch mit dem diffusen Tageslicht der Reactions-Quotient nur 1·3 betrug, während er hier bei Anwendung von directem Sonnenlichte 3·2 ist, so haben wir zunächst den offenkundigen Beweis, dass auch bei den geblendeten Thieren mit der Steigerung der Intensität der Beleuchtung die Empfindlichkeit gegen qualitative Lichtdifferenzen eine sehr beträchtliche Zunahme erfährt.

Der letzte Versuch ist dann auch insoferne sehr interessant als er uns zeigt, dass die durch die Haut vermittelte Empfindung für gewisse quantitative Lichtunterschiede eine verhältnissmässig sehr intensive ist. Dies ergibt sich nämlich einfach aus der Thatsache, dass unsere Thiere in so auffälliger Weise der rothen Abtheilung zustreben, trotzdem ihnen der Aufenthalt in derselben mit Rücksicht sowohl auf die Helligkeits- als auf die Wärmeverhältnisse weit unangenehmer als jener in der blauen ist. Die in Rede stehende Farbenempfindung ist also hier, um mich kurz auszudrücken, stärker als die beiden anderen Empfindungen zusammengenommen.

Auf Grund des Vorstehenden kann somit die uns beschäftigende Frage nur mehr die sein, ob bei den photokinetischen Reactionen directe chemische Vorgänge oder aber directe Hautempfindungen den Ausschlag geben.

Fassen wir znnächst die erstere Eventualität in's Auge.

Wenn wir bedenken, dass thatsächlich viele organische und unorganische Verbindungen durch das Licht zersetzt werden, so ist es von vorn herein gewiss sehr wahrscheinlich, dass solche directe photochemische Processe auch vielfach am lebenden Thierkörper stattfinden.

Was wir aber Positives hierüber wissen, ist bekanntlich ausserordentlich wenig. Sehen wir davon ab, dass bei den vorwiegend auf die Protozoen, resp. die sogenannten Protisten beschränkten chlorophyllführenden Formen unter dem Einfluss des Lichtes Schwankungen in der Sauerstoffproduction beobachtet werden, so beschränkt sich unsere einschlägige Kenntniss (das Verhalten der sich entwickelnden Eier kann hier strenge genommen auch nicht in Betracht kommen) auf die Thatsache, dass gewisse Pigmente, so insbesondere jene der retinalen Zellen, unmittelbar durch das Licht verändert werden.

Aus gewissen, schon Eingangs angedeuteten neueren Arbeiten — ich habe speciell jene von Fatigati[1], Moleschott[2] und E. Yung[3] vor Augen — könnte nun zwar unter gewissen Voraussetzungen der Schluss gezogen werden, dass die directen photochemischen Processe eine grössere Ausdehnung und Intensität besitzen.

Abgesehen davon aber, dass mir die bezüglichen Angaben selbst noch keineswegs vollkommen verlässlich erscheinen[4] (es

---

[1] Fatigati Serrano Influence des divers couleurs sur le developpement et la respiration des Infusoires (Compt. rend. de l'Akad. des sciens. t. 89, 1. Dec. 1879.)

[2] Moleschott et Fubini Sull' influenza della luce mista e cromatica nell' ehalazione di acido carbonico per l'organismo-animale, Torino 1879.

[3] E. Yung. Influence de differents couleurs du spectre sur le developpement des animaux (Archive de Zoologie exp. t. 7. 1878, p. 251 u. Mittheilg. d. zool. Station zu Neapel II. Bd , 2. Heft, p. 233, 1880). Vgl. hierüber auch Kosmos (von Krause) 1882, p. 107 etc.

[4] Ich bemerke diesfalls nur, dass das Maximum der CO_2-Ausscheidung

nach	Selmi u. Piacentini	(für Hund, Taube u. Huhn)	im Gelb
„	Pott	(„ Mäuse)	„ „
„	Moleschott u. Fubini	(„ Frosch und Ratte)	„ Violett
„	„	(„ Vögel)	„ Weiss

liegt, eine Übereinstimmung somit noch lange nicht erzielt ist. Ferner scheint mir die Intensität der farbigen Lichter nicht entsprechend berücksichtigt.

handelt sich um die relative CO_2-Exhalation) und dass es sich hier möglicherweise (bei Thieren mit stark behaarter oder befiederter Haut wohl sicher!) ausschliesslich nur um indirecte Processe (vielleicht nicht einmal chemischer Natur)[1] handelt, will es mir auch bedünken, dass selbst in dem Falle, wenn das Licht beim Salamander (resp. auch beim Regenwurm) auf directem Wege ähnliche Differenzen in der CO_2-Production hervorrufen würde, diese unter den gegebenen Umständen nicht ausreichen würden, die geschilderten Reactionsbewegungen hervorzurufen, resp. zu erklären.

Man beachte diesfalls zunächst, dass unsere Thiere erfahrungsgemäss gegen kleinere Schwankungen der CO_2-Menge des Mediums (sei es nun Wasser oder Luft), wie sie innerhalb der auf 5 Minuten bis zu einer Viertelstunde sich ausdehnenden Expositionszeit sich ergeben können, so gut wie unempfindlich sind und dann vor Allem, dass ja bei unseren Experimenten der Raum, in dem (nach der Annahme) mehr CO_2 producirt wird, mit dem, wo weniger erzeugt wird, vollkommen frei communicirt, dass diesfalls also ein beständiger Ausgleich stattfindet.

Ohne selbstverständlich die Möglichkeit läugnen zu wollen, dass bei den in Rede stehenden Reactionen directe photochemische Vorgänge eine gewisse Rolle spielen, will ich nun und zwar in aller Kürze jene Umstände hervorheben, die mir dafür zu sprechen scheinen, dass hiebei doch jedenfalls directe Hautempfindungen den Ausschlag geben.

Dass bei gewissen Thieren wenigstens das Licht, und zwar als solches, unmittelbare Empfindungen (vermittelt durch die Haut oder andere sensible Theile) hervorruft, daran kann wohl absolut nicht gezweifelt werden. Ich habe hier jene Fälle vor Augen, wo das Licht, wie wir das u. A. vom Dentalium und von gewissen Actinien wissen, ganz momentan wirkt, indem die betreffenden Thiere, sobald sie von intensiverem Licht getroffen werden, augenblicklich unzweifelhafte Zeichen einer Empfindung kundgeben. Freilich ist es bekannt, dass das Licht auf gewisse niedere Organismen

[1] Die Steigerung der ausgeathmeten CO_2-Menge kann ja auch durch Beschleunigung der Respirationsbewegungen bedingt sein.

(Schwärmsporen etc. vgl. Engelmann und Strassburger) ebenso schnell und zwar, so scheint es wenigstens, vielfach nur durch Änderung der O-Spannung einwirkt[1]; man darf aber nicht vergessen, dass solche Microorganismen im Allgemeinen in chemischer Beziehung viel rascher und energischer als grosse Thiere, wie etwa eine Actinie oder ein Dentalium beeinflusst werden, und wenn u. A. gleichwohl Engelmann die an das chlorophyllfreie Geisselende von Euglena gebundenen Licht-reactionen durch ein directes Empfinden erklärt, so dürfen wir das selbstverständlich umsomehr bei den genannten mit einem wirklichen Nervensystem ausgerüsteten höheren Wesen thun.

Solche momentane Licht-Reactionen habe ich nun zwar bei den geblendeten Salamandern bisher nicht nachzuweisen vermocht, es darf aber anderseits daran erinnert werden, dass die ganze Beschaffenheit der Haut dieser Thiere eine solche ist, die sie (ich denke hiebei insbesondere auch an ihre Pigmente) zur Perception von Lichtreizen ausserordentlich geeignet macht.

Das Hauptargument, das nach meiner Ansicht für ein directes dermatoptisches Empfinden und nicht nur für dies allein sondern zugleich auch für eine gewisse, wenn auch nur entfernt zu denkende Analogie in der Beschaffenheit des ophthalmoptischen und des dermatoptischen Empfindens spricht, liegt aber in der Vergleichung der Reactionen einerseits bei den normalen und anderseits bei den geblendeten Thieren.

Ich will mich hierüber so klar wie möglich aussprechen. Setzen wir einmal den Fall, es wäre das ganze Lichtempfinden unserer Thiere wirklich so, wie es die Descendenztheorie fordert oder doch zu fordern scheint, dass nämlich zwar die Augen die Hauptorgane für diese Perceptionen sind, dass aber daneben auch noch die Haut einen gewissen Antheil an denselben nimmt, und fragen wir nun, wie müssten sich unter dieser Voraussetzung die betreffenden Reactionen der normalen und der geblendeten Salamander zu einander verhalten.

Es wäre da offenbar zweierlei zu erwarten. Erstens müsste sich bei den (ausschliesslich) dermatoptischen (d. h. geblendeten)

---

[1] Anders verhält es sich bekanntlich beim Regenwurm, der häufig wenigstens so viel wie augenblicklich reagirt.

Thieren dieselbe Vorliebe für gewisse Lichter kundgeben wie bei den ophthalmoptischen und zweitens müssten die bezüglichen Reactionen der ersteren viel schwächer als jene der letzteren sein.

Nun beachte man, dass sich die Sache nach unseren Experimenten wirklich so verhält.

Die ophthalmoptischen Thiere ziehen für's Erste das Dunkel dem Hell (und zwar wie ich hier einschalten muss, nicht allein beim Weiss) vor.

Sie zeigen also eine niedere Helligkeitsstimmung. Genau dasselbe ist auch bei den geblendeten der Fall.

Die ophthalmoptischen Thiere fliehen ferner das relativ kurzwellige (ultraviolette, blaue und grüne) Licht im Vergleich zum langwelligen (gelben und rothen). Ganz ebenso machen es auch die geblendeten.

Drittens endlich reagiren die ophthalmoptischen Thiere auf gewisse Helligkeits- und qualitative Lichtdifferenzen sehr stark, während bekanntlich die geblendeten relativ nur sehr schwache Bewegungen zeigen.[1]

ANHANG.

In der letzten Zeit habe ich ausgedehnte Versuche mit geblendeten Küchenschaben *(Blatta germanica)* gemacht, und mich überzeugt, dass dieselben sowohl auf Helligkeits- als auf Farbendifferenzen z. Th. noch energischer als die geblendeten Tritonen reagieren.

---

[1] Ich muss hier bemerken, dass ich den in Rede stehenden Thatsachen gegenwärtig nicht mehr die Bedeutung beilege, die ich ihnen früher zugeschrieben habe. Was speciell den Umstand betrifft, dass die Frequenzunterschiede bei den geblendeten Thieren im Allgemeinen (bei Ultraviolet z. B. nicht!) geringer als bei den sehenden sind, so erklärt sich derselbe schon dadurch, dass die blinden Thiere aus einem für sie unangenehm belichteten Raum nicht so leicht einen Ausweg finden als die sehenden

Die Hauptergebnisse, ausgedrückt durch den Reactionsquotienten, sind:

	Sehende Thiere	Geblendete Thiere
Schwarz — Weiss	7·0 [1]	2·3
Halbdunkel [2] — Weiss	—	2·4
Hell-Roth — Dunkel-Blau	5·0	1·7

[1] Die Zahlen geben an, wie vielmal das erstgenannte Licht stärker als das zweite besucht wurde.

[2] Die betreffende Abtheilung erhielt 81mal weniger intensives weisses Licht als die andere.